



Prioritätsbescheinigung über die Einreichung einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 102 56 222.9

Anmeldetag: 02. Dezember 2002

Anmelder/Inhaber: Klingelberg GmbH, Hückeswagen/DE

Bezeichnung: Maschine und Verfahren mit 7 Achsen zum CNC-gesteuerten spanabhebenden Bearbeiten, insbesondere Wälzfräsen oder Wälzschleifen, von Spiralkegelrädern

IPC: B 23 F 9/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 13. Oktober 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Faust'.

Faust

MASCHINE UND VERFAHREN MIT 7 ACHSEN ZUM CNC-GESTEUERTEN SPANABHEBENDEN BEARBEITEN, INSBESONDERE WÄLZFRÄSEN ODER WÄLZSCHLEIFEN, VON SPIRALKEGELRÄDERN

Zusammenfassung

Auf einer CNC-Maschine (10) zur spanabhebenden Bearbeitung von Spiralkegelrädern bildet die Achse (T) einer Werkzeugspindel (38) mit einer Orientierungsachse (O) einen für alle zu bearbeitenden Kegelräder festen, nicht einstellbaren Neigungswinkel (κ). Die Werkzeugspindel (38) ist durch eine Schwenktrommel (44) kontinuierlich um die Orientierungsachse (O) schwenkbar. Die Winkellage einer Werkradspindel (18) ist um eine Schwenkachse (P) für ein auf der Maschine (10) zu bearbeitendes Kegelrad einstellbar, ändert sich aber während der Bearbeitung nicht. Der Neigungswinkel (κ) und die Winkellage sind so gewählt, dass eine vorherbestimmte Abwälzbewegung zwischen Werkrad (22) und Werkzeug (42) erzielbar ist. Das Verschwenken der Werkzeugspindelachse (T) um die Orientierungsachse (O) führt zu einer höheren Maschinensteifigkeit als ein im Stand der Technik angewandtes Grundwinkelschwenken der Werkradspindelachse (W) um die Schwenkachse (P) und damit zu genaueren Zahnflanken an den bearbeiteten Spiralkegelrädern.

Fig. 1

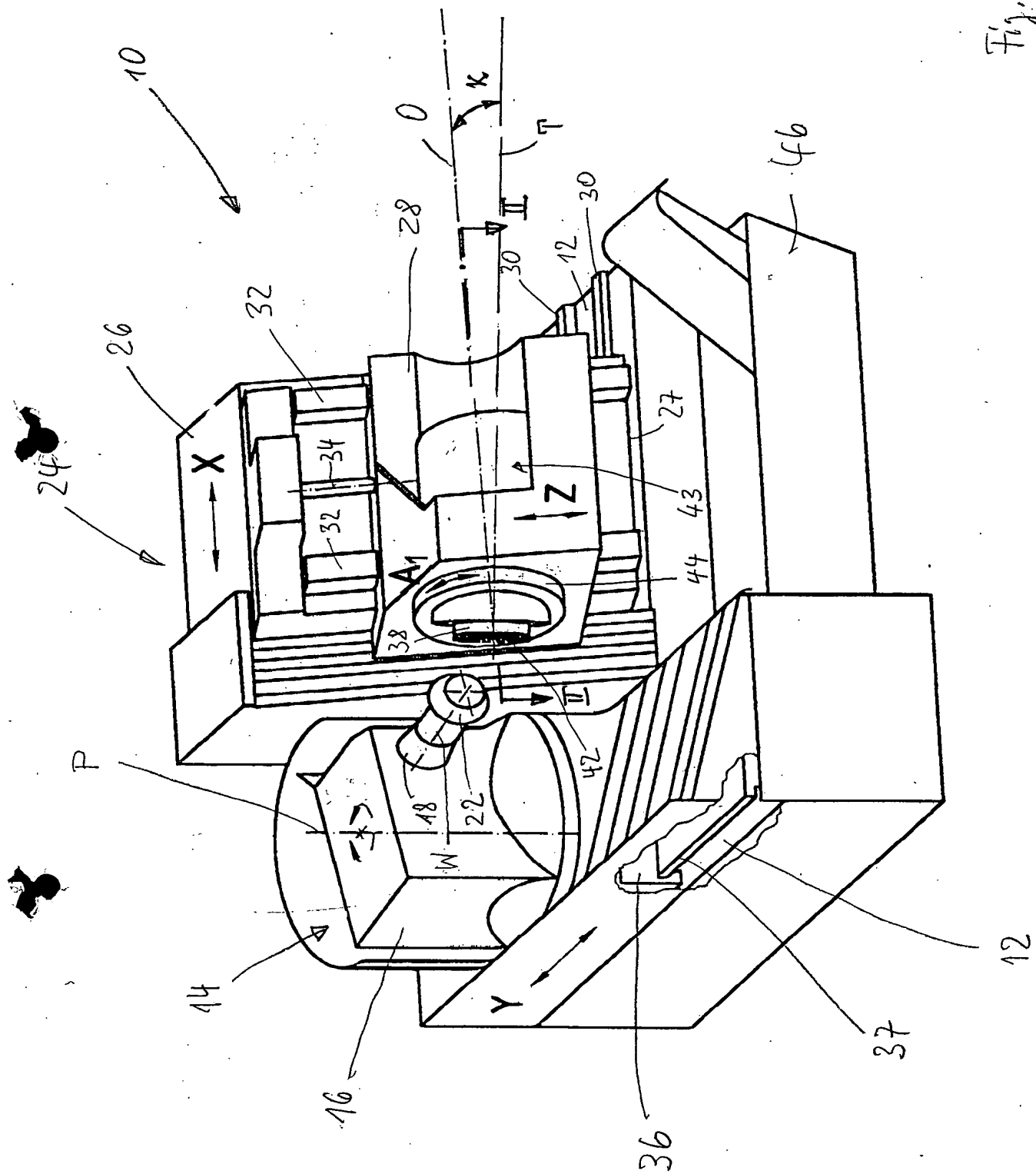


Fig. 1

MASCHINE UND VERFAHREN MIT 7 ACHSEN ZUM CNC-GESTEUERTEN SPANABHEBENDEN BEARBEITEN, INSBESONDERE WÄLZFRÄSEN ODER WÄLZSCHLEIFEN, VON SPIRALKEGELRÄDERN

Beschreibung

Die Erfindung betrifft eine Maschine und ein Verfahren zur Bearbeitung von Spiralkegelrädern mit und ohne Achsversetzung nach den Patentansprüchen 1 bzw. 22.

Eine herkömmliche mechanische Wälzfräsmaschine zur Herstellung von Spiralkegelrädern, die einen neigbaren Messerkopf auf einer Wälztrommel und bis zu zehn Achsen hat, von denen sich maximal drei Achsen während des Wälzfräsvorganges abhängig von einander drehen, lässt sich nach der grundlegenden Erfindung von Segal (SU-A-946830 und M. G. Segal: „Ways of Numerical Program Control Utilization in Machine Tools for Machining Round Teeth of Conical and Hypoid Transmissions“. Izvestiya vuzov. Mashinostroenie, 1985, Nr. 6, S. 120 – 124) durch eine numerisch gesteuerte Wälzfräsmaschine mit höchstens sechs Achsen ersetzen, die alle gleichzeitig und nach nichtlinearen Gesetzmäßigkeiten arbeiten, um dieselben Kegelräder wie auf der herkömmlichen Maschine herzustellen.

Seitdem sind eine Reihe von CNC-gesteuerten Kegelrad-Maschinen veröffentlicht worden, die unterschiedliche Ausführungsformen des von Segal vorgestellten Prinzips darstellen, wie zum Beispiel eine Mehrachsen-Kegelrad-Wälzfräsmaschine nach der EP-B1-0 374 139. Allen CNC-gesteuerten Maschinen mit 6 Achsen ist gemeinsam, dass ein Werkradspindelträger während der Wälzbewegung ständig um eine vertikale Achse nachgeschwenkt werden muss, was als Grundwinkelschwenken bezeichnet wird. Dieses Grundwinkelschwenken ist erforderlich, weil der Messerkopf, der sich auf einer herkömmlichen mechanischen Wälzfräsmaschine bei einem kegelförmigen Erzeugerrad auf einer gekrümmten Kegeloberfläche bewegt, auf einer numerisch gesteuerten Wälzfräsmaschine durch einen Kreuzschlitten in einer Ebene bewegt. Allerdings sind bei einer Maschine gemäß WO 02/066193 A1 Werkzeugspindel und Werkradspindel vertauscht, so dass dort der Werkzeugspindelträger nachgeschwenkt werden muss, was aber an dem durch die grundlegende Erfindung von Segal vorgegebenen Prinzip nichts ändert.

Das Grundwinkelschwenken des Werkradspindelträgers kehrt im Allgemeinen innerhalb eines Wälzvorganges seine Richtung um. Einerseits bringt das ein Steuerungsproblem mit sich, insbesondere im Einzelteilverfahren (face milling), bei dem das Grundwinkelschwenken

mit größerer Geschwindigkeit abläuft als im kontinuierlichen Teilverfahren (face hobbing). Andererseits bringt das eine Lastumkehr in denjenigen mechanischen Elementen mit sich, die die Bewegung des schwenkbaren Werkradspindelträgers bewirken. Selbst wenn es in dem Antriebsstrang für das Grundwinkelschwenken kein Spiel gibt, weil nur vorgespannte Lager, Gelenke und Drehspindeln zum Einsatz kommen, handelt es sich dabei um elastische Maschinenelemente, die bei einer Lastumkehr ihre Verformung ändern und dadurch Ungenauigkeiten an den hergestellten Kegelradflanken verursachen. Je größer die Ausladung des schwenkbaren Spindelträgers ist, desto kritischer ist dieser Effekt, da sich dann die kleinen Fehler aufgrund der Bewegungsumkehr verstärken. Die erforderliche Schwenkbarkeit des Werkradspindelträgers während der Bearbeitung beeinträchtigt dessen Steifigkeit. Höchste Steifigkeit ist aber für die Herstellung von Kegelrädern mit genau festgelegten Zahnflanken eigentlich unerlässlich.

Die DD-A1- 255296 betrifft eine Verzahnmaschine zur Herstellung von Kegelrädern im Wälz- und Formverfahren, bei der der Werkradspindelträger um eine vertikale Achse schwenkbar ist und der Werkrad- und der Werkzeugspindelträger relativ zueinander vertikal und horizontal verschiebbar sind. Damit wird bezweckt, den Aufwand für die Verzahnmaschine und deren Antriebs- und Steuertechnik entscheidend zu senken und deren Automatisierungsgrad zu erhöhen. Diese bekannte Maschine mit 8 Achsen unterscheidet sich von einer mechanischen Wälzwiegenmaschine im Wesentlichen nur dadurch, dass die Wälzwiege, an der eine einstellbare Schwenktrommel mit dem Werkzeug exzentrisch gelagert ist, durch einen Kreuzschlitten ersetzt worden ist, mit welchem die Schwenktrommel, die das Werkzeug trägt, in zwei rechtwinklig zueinander angeordneten Koordinaten verschiebbar ist. Die Werkzeugachse bildet mit der Schwenktrommelachse einen einstellbaren Neigungswinkel (Tilt), dessen Orientierung auf einer klassischen Wälzwiegenmaschine durch einen weiteren Winkel (Swivel) fest eingestellt wird. Bei einer Kreuzschlittenmaschine muss dagegen die Orientierung der Werkzeugneigung zusätzlich durch kontinuierliches Drehen der Schwenktrommel der ursprünglichen Wiegendrehung nachgeführt werden. Für jede herzustellende Kegelradauslegung muss der Neigungswinkel auf der bekannten Maschine neu eingestellt werden. Dafür ist zwischen der Schwenktrommel und dem Werkzeug ein von klassischen Wälzwiegenmaschinen her bekannter Werkzeugneigungsmechanismus angeordnet. Während der Bearbeitung einer Kegelradserie bleibt dieser Neigungsmechanismus festgeklemmt und die mit der Anfangsstellung der Schwenktrommeldrehung berücksichtigte Orientierung unverändert. Immer dann, wenn ein anderes Kegelrad herzustellen ist, muss mit Hilfe des Neigungsmechanismus ein anderer Neigungswinkel zwischen Werkzeugachse und Schwenktrommelachse eingestellt und mit Hilfe der Steuerung eine andere Anfangsstellung der Schwenktrommel vorgesehen werden. Eine weitere Einstellung betrifft den Werkradspindelträger. Der Grundwinkel, auf den der Werkradspindelträger eingeschwenkt wird und der wäh-

rend der Bearbeitung fest eingestellt bleibt, ist der Werkradstelleinwinkel δ_E . Dieser Winkel ist bei dem Wälzverfahren abhängig von dem Teilkegelwinkel des herzustellenden Kegelrades und bei dem Formverfahren hauptsächlich von dem Achsenwinkel des Kegelrad- bzw. Hypoidgetriebes abhängig. Auch der Grundwinkel wird bei jeder herzustellenden neuen Kegelradauslegung neu eingestellt. Der Wälzvorgang läuft dann wie auf der klassischen mechanischen Wälzwiegenmaschine ab, lediglich mit dem Unterschied, dass zum Bewegen des Werkzeuges die Schwenktrommel nicht mit Hilfe der Wälzwiege um die Wälzwiegenachse geschwenkt wird, sondern mit Hilfe eines separaten Drehantriebs.

Aus der oben bereits erwähnten EP-B1-0 374 139 ist eine Mehrachsen-Wälzfräsmaschine mit CNC-Steuerung zur Herstellung von Kegel- und Hypoidrädern bekannt. Bei dieser bekannten Maschine wird die Werkzeugspindel mit Hilfe eines Kreuzschlittens in einer Vertikalebene verfahren, wobei die Achse der Werkzeugspindel ständig horizontal bleibt. Gleichzeitig muss während des Wälzfräsens die Werkradspindel um eine vertikale Schwenkachse geschwenkt werden. Diese bekannte Maschine ist eine so genannte 6-Achsen-Maschine. Die sechs Achsen umfassen drei translatorisch bewegliche Achsen und drei Drehachsen. Eine der drei Drehachsen ist die vertikale Schwenkachse. Alle sechs Achsen werden während des Wälzfräsens gleichzeitig gesteuert. Die Schwenkbewegung der Werkradachse um die vertikale Schwenkachse hat im Allgemeinen einen Umkehrpunkt. Das heißt, die Schwenkbewegung wird zu einem maximalen Grundwinkel hin langsamer, kehrt dann ihre Richtung um und wird wieder schneller. Eine solche Schwenkbewegung bringt, wie oben bereits dargelegt, Steuerungsprobleme mit sich, weil die Bewegung abgebremst und dann wieder in entgegengesetzter Richtung beschleunigt werden muss. Die oben ebenfalls bereits erwähnte Lastumkehr, die Formänderungen in dem Antriebsstrang des Schwenkmechanismus verursacht, kann zu unerwünschten Abweichungen an den Flanken der hergestellten Kegelräder führen.

Bei der Maschine, die aus der oben genannten DD-A1-255296 bekannt ist, bringt der Neigungsmechanismus, der bei jedem neu zu bearbeitenden Kegelradauslegung neu eingestellt werden muss, Genauigkeitsprobleme mit sich. Außerdem ist es sehr aufwendig, den Neigungsmechanismus auf einer Schwenktrommel vorzusehen. Diesen Nachteil weist die Maschine nach der EP-B1-0 374 139 zwar nicht auf, sie hat jedoch den vorstehenden geschilderten Nachteil, der sich aus der erforderlichen Schwenkbewegung der Werkradspindel um die vertikale Schwenkachse ergibt.

Aufgabe der Erfindung ist es, eine Maschine und ein Verfahren zum CNC-gesteuerten spanabhebenden Bearbeiten, insbesondere Wälzfräsen oder Wälzschleifen, von Spiralkegelrädern mit und ohne Achsversetzung so auszubilden, dass kein einstellbarer Neigungsmecha-

nismus für die Werkzeugachse erforderlich ist, trotzdem aber auch kein Grundwinkelschwenken eines der Spindelträger benötigt wird.

Diese Aufgabe ist erfindungsgemäß bei der Maschine und dem Verfahren mit den in den Patentansprüchen 1 bzw. 22 angegebenen Merkmalen bzw. Schritten gelöst.

Erfindungsgemäß ist statt eines schwenkbaren Neigungsmechanismus vorgesehen, dass von Werkradspindel und Werkzeugspindel eine erste Spindel einen für alle auf der Maschine zu bearbeitenden Kegelräder festen, nicht einstellbaren Neigungswinkel mit einer Orientierungsachse bildet und durch eine drehbare Schwenkvorrichtung kontinuierlich um die Orientierungsachse schwenkbar ist. Erfindungsgemäß bleibt also unabhängig davon, welchen Tilt das zu bearbeitende Kegelrad benötigt, der eingestellte Neigungswinkel gleich, denn dieser Neigungswinkel wird von vornherein bei der Maschinenkonstruktion festgelegt und bleibt dann konstant, und zwar für alle möglichen Kegelräder. Weiter wird von Werkradspindel und Werkzeugspindel die zweite Spindel, die mit ihrer Achse und der Orientierungsachse eine Bezugsebene aufspannt, in ihrer Winkellage um eine zu der Bezugsebene rechtwinkelige Schwenkachse für ein auf der Maschine zu bearbeitendes Kegelrad eingestellt, wobei sich diese Einstellung während der Bearbeitung nicht verändert. Bei der Maschine nach der Erfindung ist es daher möglich, während eines Bearbeitungsvorganges den schwenkbaren Spindelträger auf breiter Basis zu klemmen und dadurch die Maschinensteifigkeit weiter zu erhöhen. Alle Zahnflankenungenauigkeiten und Schwierigkeiten, die bei der Kegelradherstellung im Stand der Technik durch das Vorhandensein des Neigungsmechanismus oder durch den Antriebsstrang des Schwenkmechanismus des Werkradspindelträgers auftreten können, werden so durch die Erfindung vermieden. Außerdem wird erfindungsgemäß gegenüber der aus der DD-A1-255296 bekannten Maschine an der Schwenkvorrichtung eine Achse eingespart, nämlich die Einstellachse für den Tilt. Dadurch wird auch der Aufbau der Schwenkvorrichtung wesentlich vereinfacht.

Bei der spanabhebenden Bearbeitung, die durch die Maschine und das Verfahren nach der Erfindung ausführbar sind, handelt es sich insbesondere um Wälzfräsen oder Wälzschleifen.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Maschine nach der Erfindung bilden die Gegenstände der Unteransprüche.

Wenn in einer Ausgestaltung der Erfindung die Schwenkvorrichtung eine um die Orientierungsachse drehbare Schwenktrommel aufweist, an oder in welcher die schwenkbare Spindel drehbar gelagert ist, lässt sich für das Erzielen der vorherbestimmten relativen Abwälz-

bewegung die Richtung der geneigten Werkzeugachse durch Drehen der Schwenktrommel hochgenau und ohne Probleme kontinuierlich nachführen.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Erfindung eine Einrichtung zum, insbesondere nichtlinearen, Drehen der Schwenktrommel vorgesehen ist, lässt sich die vorherbestimmte relative Abwälzbewegung erzielen, obgleich der feste, nicht einstellbare Neigungswinkel bei der erfindungsgemäßen Maschine üblicherweise nicht mit dem erforderlichen Tilt des herzustellenden Kegelrades übereinstimmt.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Maschine nach der Erfindung eine der drei Richtungen, in denen Werkradspindel und Werkzeugspindel relativbewegbar sind, schräg ist, kann die Maschine, abgesehen von der Schwenktrommel, deren Lagerung und der darin gelagerten Spindel, denselben Aufbau haben wie die Maschine der Anmelderin nach der DE-C2-196 46 189.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Maschine nach der Erfindung der Neigungswinkel wenigstens gleich ist dem Größtwert von allen maximalen Grundwinkelschwenkbereichen, die auf einer herkömmlichen 6-Achsen-Maschine bei der Bearbeitung von Kegelrädern vorkommen, ist die Schwenkbewegung der schwenkbaren Spindel um die Orientierungsachse in jedem Fall ausreichend, um die notwendigen Relativbewegungen zwischen Werkzeug und Werkrad zu erzeugen, die für das Erzielen der vorherbestimmten relativen Abwälzbewegung erforderlich sind.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Maschine nach der Erfindung die Winkellage der zweiten Spindel gegenüber einer Koordinatenachse in der Bezugsebene gemessen ist, die rechtwinklig zur Orientierungsachse ist, und als Grundwinkel bezeichnet wird, lässt sich auf einfache Weise der maximale Grundwinkelschwenkbereich für alle zu bearbeitenden Kegelräder ermitteln.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Maschine nach der Erfindung der einzustellende Grundwinkel einem Winkel entspricht, der gleich dem maximalen Grundwinkel ist, welcher sich für ein zu bearbeitendes Kegelrad auf einer herkömmlichen 6-Achsen-Maschine ergibt, minus dem Neigungswinkel, dann wird mit Sicherheit vermieden, dass in der Schwenkbewegung der verschwenkbaren Spindel um die Orientierungsachse eine Bewegungsumkehr erfolgt.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Maschine nach der Erfindung der Neigungswinkel in einem Bereich von größer als 0° und bis zu 35° und vorzugsweise von 5° bis 15° und vor-

zugsweise 10° beträgt, lassen sich auf der Maschine nach der Erfindung alle Kegelräder, die auf einer herkömmlichen 6-Achsen-Maschine bearbeitbar sind, bearbeiten.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Maschine nach der Erfindung von Werkradspindel und Werkzeugspindel die erste Spindel durch einen um die zu der Bezugsebene rechtwinkeligen Schwenkachse schwenkbaren und in einer der drei Richtungen verschiebbaren ersten Spindelträger drehbar gelagert ist und die zweite Spindel mit der Schwenktrommel, in der sie drehbar gelagert ist, durch einen in einer der beiden anderen Richtungen verschiebbaren zweiten Spindelträger drehbar gelagert und in der dritten Richtung verschiebbar geführt ist, kann die erfindungsgemäße Maschine entweder den Aufbau nach der DE-C2-196 46 189 oder nach der EP-B1-0 374 139 haben.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Maschine nach der Erfindung beide Spindelträger horizontal geführt sind, lässt sich der Aufbau der Spindelträger im Sinne einer maximalen Prozesssteifigkeit auf einfache Weise optimieren.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Maschine nach der Erfindung der erste Spindelträger horizontal und der zweite Spindelträger in der Höhe verfahrbar geführt ist, lassen sich die Führungen der Spindelträger zweckmäßig an einem vertikalen Maschinenbett vorsehen, wie es die aus der WO 02/066193 A1 bekannte Maschine aufweist.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Maschine nach der Erfindung der zweite Spindelträger einen ersten Schlitten aufweist, der horizontal geführt ist, und einen zweiten Schlitten, der an dem ersten Schlitten in der Höhe verfahrbar geführt ist und die Schwenktrommel drehbar lagert, kann der zweite Spindelträger beispielsweise auf einem horizontalen Bett mit einem großflächigen Fuß abgestützt werden, wodurch sich die Prozesssteifigkeit weiter erhöhen lässt.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Maschine nach der Erfindung der zweite Spindelträger einen ersten Schlitten aufweist, der in der Höhe verfahrbar ist, und einen zweiten Schlitten, der an dem ersten Schlitten horizontal geführt ist und die Schwenktrommel drehbar lagert, bietet es sich an, zumindest den zweiten Spindelträger an einem Schräg- oder einem Vertikalbett verschiebbar zu lagern.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Maschine nach der Erfindung die Horizontalführungen jeweils auf einem horizontalen Bett vorgesehen sind, bietet sich wiederum der Aufbau der Maschine nach der DE-C2-196 46 189 an.

Wenn hingegen in einer weiteren Ausgestaltung der Maschine nach der Erfindung die Horizontalführung des ersten Spindelträgers und die Höhenführung des zweiten Spindelträgers an einem Schräg- oder einem Vertikalbett vorgesehen sind, bietet sich ein Aufbau der Maschine nach der WO 02/066192 A1 an.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Maschine nach der Erfindung die Werkradspindel und Werkzeugspindel so angeordnet sind, dass bei der Bearbeitung Werkrad und Werkzeug an einer Stelle in Eingriff kommen, die sich im Wesentlichen über einem horizontalführungsfreien Bereich der Maschine befindet, in welchem ein Spänesammler vorsehbar oder vorgesehen ist, in den die Späne im Wesentlichen durch Schwerkraft gelangen, eignet sich die Maschine insbesondere für das sogenannte Trockenfräsen.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Maschine nach der Erfindung die Richtung, in der die Schwenktrommel mit ihrem zugeordneten Schlitten in der Höhe verfahrbar ist, gegen die Vertikale geneigt ist, lässt sich der zugeordnete Spindelträger mit einem breiteren Fuß ausbilden.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Maschine nach der Erfindung die Werkzeugspindel in der Schwenktrommel drehbar gelagert ist, lässt sich das Werkzeug zum Werkzeugwechsel in eine für den Maschinenbediener leichter zugängliche Position bewegen, indem die Schwenktrommel mittels der Dreheinrichtung entsprechend gedreht wird.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Maschine nach der Erfindung für die Werkzeugspindel ein Direktantrieb in der Schwenktrommel vorgesehen ist, lässt sich der Antrieb der Werkzeugspindel besonders einfach gestalten.

Wenn in weiterer Ausgestaltung der Maschine nach der Erfindung für die Werkzeugspindel ein Drehantrieb außerhalb der Schwenktrommel vorgesehen ist, der über ein Winkelgetriebe mit der Werkzeugspindel verbunden ist, lässt sich die Werkzeugspindel besonders kurz und kompakt ausbilden, was in manchen Anwendungsfällen Vorteile mit sich bringt.

Die Lösung der Aufgabe durch das erfindungsgemäße Verfahren umfasst die Schritte, die im Patentanspruch 22 angegeben sind und die insbesondere auf einer 7-Achsen-Maschine nach einem der Ansprüche 1 bis 21 ausführbar sind. Mit diesem Verfahren lässt sich das im Stand der Technik erforderliche Grundwinkelschwenken um eine vertikale Schwenkachse während des Wälzens auf einer 5- oder 6-Achsenmaschine vermeiden, indem zwischen einer Orientierungsachse und der um diese schwenkbaren geneigten Spindelachse für alle zu bearbeitenden Kegelräder ein und derselbe feste Winkel gewählt wird. Dadurch verändert

sich die Orientierung der geneigten Spindelachse, während die andere Spindel um die zu einer Bezugsebene rechtwinkelige Schwenkachse auf einen optimalen Winkel eingestellt wird und bleibt. Zur Aufrechterhaltung der vorbestimmten relativen Abwälzbewegung muss nur die Richtung der geneigten Spindelachse kontinuierlich nachgeführt werden. Die Vorteile dieser Maßnahmen bestehen darin, dass keine Bewegungsumkehr in der Orientierung der geneigten Spindelachse auftritt und dadurch die Maschinengenauigkeit weiter erhöht wird, denn darüber hinaus bleibt die andere Spindel während der Bearbeitung festgeklemmt, so dass deren Spindelträger steifer ausgeführt ist als ein nachführbarer Werkradspindelträger.

Das Berechnen und Steuern der vorbestimmten relativen Abwälzbewegung zwischen dem Werkzeug und dem Werkrad erfolgen dabei zweckmäßig mit dem in der Maschine ohnehin vorgesehenen oder der Maschine ohnehin zugeordneten Computer, mit dessen Hilfe Werkzeug und Werkrad zunächst in Eingriff gebracht und dann während der vorbestimmten relativen Abwälzbewegung kontinuierlich im Eingriff gehalten werden. Auch das Berechnen des optimalen Schwenkwinkels um die Schwenkachse und das Einstellen dieses Winkels sowie das kontinuierliche Nachführen der geneigten Spindelachse erfolgen zweckmäßig mit Hilfe des genannten Computers.

Vorteilhafte Ausgestaltungen des Verfahrens nach der Erfindung bilden die Gegenstände der Verfahrensunteransprüche.

Wenn in einer Ausgestaltung des Verfahrens nach der Erfindung der Neigungswinkel wenigstens gleich dem Größtwert von allen maximalen Grundwinkelschwenkbereichen, die auf einer herkömmlichen 6-Achsen-Maschine bei der Bearbeitung von Kegelrädern vorkommen, gewählt wird, lässt sich die Schwenkbewegung der geneigten Spindelachse um die Orientierungsachse in jedem Fall ausreichend bemessen, um die notwendigen Relativbewegungen zwischen Werkzeug und Werkrad zu erzeugen, die für das Erzielen der vorherbestimmten relativen Abwälzbewegung erforderlich sind.

Wenn in weiterer Ausgestaltung des Verfahrens nach der Erfindung für den einzustellenden Grundwinkel ein Winkel berechnet wird, der gleich dem maximalen Grundwinkel ist, welcher sich für ein zu bearbeitendes Kegelrad auf einer herkömmlichen 6-Achsen-Maschine ergibt, minus dem Neigungswinkel, so wird mit Sicherheit vermieden, dass in der Schwenkbewegung der geneigten Spindelachse um die Orientierungsachse eine Bewegungsumkehr erfolgt.

Wenn in weiterer Ausgestaltung des Verfahrens nach der Erfindung zum Erzielen der vorherbestimmten relativen Abwälzbewegung das kontinuierliche Schwenken der anderen

Spindel ungleichförmig erfolgt, lassen sich die gleichen Zahnflanken wie auf einer herkömmlichen 6-Achsen-Maschine oder auf einer klassischen Wälzwiegenmaschine erzielen.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden im Folgenden unter Bezugnahme auf die Zeichnungen näher beschrieben. Es zeigt:

- Fig. 1 in perspektivischer Darstellung den Grundaufbau von einem Ausführungsbeispiel einer erfindungsgemäßen Maschine, die zur CNC-gesteuerten Herstellung von Spiralkegelrädern mit und ohne Achsversetzung durch Wälzfräsen ausgebildet ist,
- Fig. 2 als eine Einzelheit im Längsschnitt nach der Linie II – II in Fig. 1 ein erstes Ausführungsbeispiel einer Schwenktrommel mit darin drehbar gelagerter Werkzeugspindel, die mit einem Direktantrieb versehen ist,
- Fig. 3 als eine Einzelheit in gleicher Darstellung wie in Fig. 2 ein zweites Ausführungsbeispiel einer Schwenktrommel mit darin drehbar gelagerter Werkzeugspindel, die über ein Winkelgetriebe von einem Motor angetrieben wird, der außerhalb der Schwenktrommel angeordnet ist,
- Fig. 4 in einer Ansicht von oben die Arbeitsstellung der Maschine, in der Werkzeug und Werkrad in Eingriff sind, bei der Bearbeitung eines Tellerrades,
- Fig. 5 in einer Ansicht von oben die Arbeitsstellung der Maschine, in der Werkzeug und Werkrad in Eingriff sind, bei der Bearbeitung eines Ritzels,
- Fig. 6 in einer Ansicht von oben die Stellung der Maschine, in welcher die Maschine mit einem zu bearbeitenden neuen Werkrad oder Rohling beschickt und das Werkzeug gewechselt werden kann,
- Fig. 7 in einer Ansicht von oben eine Arbeitsstellung der Maschine, in der Werkzeug und Werkrad bei der Bearbeitung eines Ritzels in Eingriff sind, wobei das Werkzeug aber gegenüber der Arbeitsstellung nach Fig. 5 um 180° in die Position nach Fig. 6 gedreht ist,
- Fig. 8 eingezeichnet in ein orthogonales XYZ-Koordinatensystem der Maschine nach Fig. 1 mehrere Grundwinkelschwenkbereiche für die Werkradachse um eine Schwenkachse P, die zu einer durch die X- und die Y-Achse aufgespannten

Bezugsebene rechtwinkelig ist, für verschiedene Auslegungen von Kegelrädern auf einer herkömmlichen 6-Achsen-Maschine,

Fig. 9 schematisch in dem gleichen Koordinatensystem wie in Fig. 8 ein Ritzel, das mit einem Messerkopf als Werkzeug in Eingriff steht und gerade auf einer herkömmlichen 6-Achsen-Maschine geschnitten wird, und

Fig. 10 das gleiche Werkrad und den gleichen Messerkopf wie in Fig. 9, aber auf einer Maschine nach der Erfindung.

In Fig. 1 ist der Grundaufbau eines ersten Ausführungsbeispiels einer erfindungsgemäßen Maschine 10 zur CNC-gesteuerten spanabhebenden Bearbeitung von Spiralkegelrädern mit und ohne Achsversetzung, die hier als eine Wälzfräsmaschine ausgebildet ist, in perspektivischer Darstellung und in Ansicht von der Bedienerseite aus gezeigt. Auf einem Maschinenbett 12 ist ein erster Spindelträger oder Werkradspindelträger 14 in Richtung einer geraden Koordinatenachse Y verfahrbar. Der erste Spindelträger 14 weist ein Schwenkteil 16 auf, das um eine vertikale Schwenkachse (P) (Pivotachse) schwenkbar ist und eine Werkradspindel 18 mit einer Werkradspindelachse W zur drehbaren Lagerung eines Werkrades 22 trägt, das hier ein Ritzel ist.

Nur in dem hier dargestellten und beschriebenen Ausführungsbeispiel ist die Schwenkachse P vertikal. Die Maschine 10 könnte auch so ausgebildet sein, dass die Schwenkachse P beispielsweise horizontal liegt. Allgemein ist die Schwenkachse P zu einer Bezugsebene rechtwinkelig, die im Zusammenhang mit den Fig. 8 bis 10 noch näher beschrieben wird.

Auf dem Maschinenbett 12 ist weiter ein zweiter Spindelträger oder Werkzeugspindelträger 24 angeordnet, der entlang einer geraden Koordinatenachse X, die zu der Koordinatenachse Y orthogonal ist, horizontal und linear geführt ist. Der zweite Spindelträger 24 hat einen ersten Schlitten 26 und einen zweiten Schlitten 28. Der erste Schlitten 26 hat Wälzschuhe (in Fig. 1 nicht sichtbar), die mit einer Horizontalführung 30 in Form von Führungsleisten in Eingriff sind. Der zweite Schlitten 28 ist an dem ersten Schlitten 26 auf einer Führung 32 entlang einer geraden Koordinatenachse Z mittels eines Spindeltriebs 34 in der Höhe verfahrbar. Das Schwenkteil 16 des ersten Spindelträgers 14 ist auf einem dritten Schlitten 36 angeordnet, der entlang der Koordinatenachse Y auf einer Horizontalführung 37 linear geführt ist. Bei der in Fig. 1 gezeigten Schrägbett-Maschine ist die Z-Achse gegen die Y-Achse geneigt. Stattdessen könnte sie zu der Y-Achse auch orthogonal sein (nicht dargestellt). Der zweite Spindelträger 24 trägt eine Werkzeugspindel 38 zur drehbaren Lagerung eines Werkzeuges 42, das hier ein Messerkopf ist. Die Werkzeugspindel 38 ist in einer Schwenktrommel 44

drehbar gelagert. Die Schwenktrommel 44 ist ihrerseits in dem zweiten Schlitten 28 des zweiten Spindelträgers 24 um eine horizontale Orientierungsachse O drehbar gelagert.

Bei den vorstehend und im Folgenden beschriebenen Ausführungsbeispielen der Maschine 10 nach der Erfindung ist die Werkradspindel 18 durch den ersten Spindelträger 14 um die vertikale Schwenkachse P schwenkbar und in der Y-Richtung verschiebbar und die Werkzeugspindel 38 ist mit der Schwenktrommel 44, in der sie drehbar gelagert ist, durch den in einer der beiden anderen Richtungen, nämlich in X-Richtung verschiebbaren zweiten Spindelträger 24 drehbar gelagert und mit dessen zweitem Schlitten 28 in der dritten Richtung, nämlich in Z-Richtung verschiebbar geführt. Die Anordnung könnte weiter aber auch so getroffen sein, dass nicht beide Spindelträger 14, 24 horizontal geführt sind, sondern dass der erste Spindelträger 14 horizontal geführt verfahrbar ist und dass der zweite Spindelträger 24 mit einem ersten Schlitten in der Höhe verfahrbar geführt ist. Außerdem könnte bei dieser weiteren Anordnung, die nicht dargestellt ist, der zweite Spindelträger 24 einen zweiten Schlitten aufweisen, der an dem ersten Schlitten horizontal geführt ist und die Schwenktrommel 44 drehbar lagert. In diesem Fall könnte das Maschinenbett als Säule vertikal ausgebildet sein, wie es eingangs dargelegt ist. Diese weitere Anordnung ist zu der im Zusammenhang mit den hier beschriebenen Ausführungsbeispielen angegebenen Anordnung äquivalent und braucht deshalb nicht näher beschrieben zu werden. Bei der nicht gezeigten weiteren Anordnung könnte das Maschinenbett statt vertikal auch schräg gegen die Horizontale angeordnet sein. Sowohl bei der dargestellten Anordnung als auch bei der nicht dargestellten Anordnung sind die Werkradspindel 18 und die Werkzeugspindel 38 so angeordnet, dass bei dem Wälzfräsvorgang das Werkrad 22 und das Werkzeug 42 an einer Stelle in Eingriff kommen, die sich im Wesentlichen über einem horizontalführungsfreien Bereich der Maschine befindet, in welchem ein Spänesammler 46 vorgesehen ist, in den die Späne im Wesentlichen durch Schwerkraft gelangen. Dieser horizontalführungsfreie Bereich ist bei den dargestellten Ausführungsbeispielen ein Bereich, in welchem das in Draufsicht L-förmige Maschinenbett 12 ausgespart ist, wie es in Fig. 1 zu erkennen ist.

Bei den dargestellten Ausführungsbeispielen bildet eine Achse T der Werkzeugspindel 38 einen für alle auf der Maschine 10 zu bearbeitenden Kegelräder festen, nicht einstellbaren Neigungswinkel κ mit einer Orientierungsachse O. Die Werkzeugspindel 38 ist durch eine Schwenkvorrichtung 43 kontinuierlich um die Orientierungsachse O schwenkbar. Hingegen wird die Achse W der Werkradspindel 18 vor der Bearbeitung in ihrer Winkellage um die vertikale Schwenkachse P für ein auf der Maschine 10 zu bearbeitendes Kegelrad eingestellt und während der Bearbeitung nicht verändert. Die Wahl des Neigungswinkels κ und der festen Winkellage werden im Folgenden mit Bezug auf die Fig. 7 bis 10 noch näher erläutert. Die Schwenkvorrichtung 43 weist eine um die Orientierungsachse O drehbare Schwenk-

trommel 44 auf, in welcher die Werkzeugspindel 38 drehbar um die Werkzeugspindelachse T gelagert ist.

In Fig. 2 ist ein erstes Ausführungsbeispiel der Schwenkvorrichtung 43 im Schnitt nach der Linie II - II in Fig. 1 dargestellt. In Fig. 2 ist der mit dem Spindeltrieb 34 in der Höhe verfahrbare zweite Schlitten 28 zu erkennen. In einer Bohrung 50 des zweiten Schlittens 28 ist die Schwenktrommel 44 mit zu der Y-Achse rechtwinkliger Orientierungsachse O mit Hilfe eines Wälzlagers 52 und eines in einer Bohrung 54 vorgesehenen Hohlwellenmotors 56 drehbar gelagert bzw. drehbar. Der Hohlwellenmotor 56 zum Drehen der Trommel 44 ist so ausgelegt, dass diese nichtlinear oder ungleichförmig drehbar ist. Die Schwenktrommel 44 enthält eine Bohrung 58, die um den Winkel κ schräg gegen die Orientierungsachse O angeordnet ist. An ihrem vorderen Ende hat die Bohrung 58 einen erweiterten Bohrungsteil 60, in welchem die Werkzeugspindel 38 durch Wälzlager 62 drehbar gelagert ist. In der Bohrung 58 ist ein Direktantrieb 64 vorgesehen, mit dem die Werkzeugspindel 38 und damit das Werkzeug 42 um die Werkzeugspindelachse T in Drehung versetzbar ist. Der Direktantrieb 64 ist ein Elektromotor, dessen Läufer ein Teil der Werkzeugspindel 38 ist.

Fig. 3 zeigt ein zweites Ausführungsbeispiel der Schwenkvorrichtung 43, bei welchem die Werkzeugspindel 38 durch einen außerhalb der Schwenktrommel 44 vorgesehenen Drehantrieb 66 über ein Winkelgetriebe 68 in Drehung versetzbar ist. Im Übrigen sind in Fig. 3 gleiche Teile wie in Fig. 2 mit denselben Bezugszahlen versehen.

Unter Bezugnahme auf die Fig. 8 – 10 wird nun die Wahl des Neigungswinkels κ und der festeinstellbaren Winkellage der Werkspindel 18 näher beschrieben.

In Fig. 8 sind vier Grundwinkelschwenkbereiche 70, 71, 72 und 73, die auf einer herkömmlichen 6-Achsen-Maschine in der Bearbeitung von vier verschiedenen Kegelrädern vorkommen, gezeigt. Jeder der Grundwinkelschwenkbereiche 70 – 73 hat eine Winkelbreite $\Delta\Gamma$, die in Fig. 8 jeweils zwischen zwei Maßpfeilen angegeben ist. Die Grundwinkelschwenkbereiche 70 – 73 geben an, wie bei einer herkömmlichen 6-Achsen-Maschine während des WälzfräSENS die Werkspindelachse W um die Schwenkachse P bewegt wird, damit eine vorherbestimmte Abwälzbewegung zwischen einem Werkrad und einem Werkzeug erzielt wird. In dem Grundwinkelschwenkbereich kann sich die Werkspindelachse W nur in einer Richtung bewegen, wie zum Beispiel in dem Grundwinkelschwenkbereich 70. Es kann aber auch eine Bewegungsumkehr stattfinden, wie in den Grundwinkelschwenkbereichen 71, 72 und 73. Der Umkehrpunkt in dem Grundwinkelschwenkbereich legt einen maximalen Grundwinkel Γ_{\max} fest, gemessen gegen die Y-Achse. Für den Grundwinkelschwenkbereich 71 ist das in Fig. 8 angegeben. Unter den Grundwinkelschwenkbereichen 70, 73 wird für die Zwecke

der Erfindung der breiteste Grundwinkelschwenkbereich ausgewählt, was in dem in Fig. 8 gezeigten Ausführungsbeispiel der Grundwinkelschwenkbereich 71 ist, der die Winkelbreite $\Delta\Gamma_{\max}$ hat.

In Fig. 9 ist für eine herkömmliche 6-Achsen-Maschine der Eingriff zwischen dem Werkrad 22 und dem Werkzeug 42 gezeigt. Die Werkzeugachse T ist zu der X-Achse und somit zu dem Maschinenbett parallel und zu der Y-Achse rechtwinkelig. Diese Lage behält die Werkzeugachse T während des Wälzfräsens auf der herkömmlichen 6-Achsen-Maschine bei. Zum Ausgleich muss, wie eingangs beschrieben, die Werkradspindelachse W in einem Grundwinkelschwenkbereich bewegt werden, für den vier Beispiele für vier zu bearbeitende Kegelräder in Fig. 8 gezeigt sind.

Bei der Maschine 10 nach der Erfindung wird der Neigungswinkel κ wenigstens gleich dem Größtwert $\Delta\Gamma_{\max}$ von allen maximalen Grundwinkelschwenkbereichen, die auf einer herkömmlichen 6-Achsen-Maschine bei der Bearbeitung von Kegelrädern vorkommen, gewählt. Auf der Maschine 10 wird der maximale Grundwinkel Γ_{\max} um den Winkel κ verringert, mit anderen Worten, das Werkrad 22 und das Werkzeug 42, die in Eingriff sind, sind in Fig. 10 gegenüber der Lage in Fig. 9 um die Schwenkachse P um den Winkel κ nach rechts verschwenkt. Auf der erfindungsgemäßen Maschine ist somit die Werkzeugspindelachse T nicht mehr zu der X-Achse parallel, sondern um den Winkel κ geneigt, der gleich dem maximalen Grundwinkel $\Delta\Gamma_{\max}$ ist. Die fest eingestellte Winkellage der Werkradspindel 18, d.h. deren Grundwinkel Γ entspricht somit in Fig. 10 einem Winkel, der gleich dem maximalen Grundwinkel Γ_{\max} ist, welcher sich für ein zu bearbeitendes Kegelrad auf einer herkömmlichen 6-Achsen-Maschine ergibt, minus dem Neigungswinkel κ . Auf der neuen Maschine ist also gemäß Fig. 10 das Werkzeug 42 um den Winkel κ gegen die Orientierungsachse O geneigt, welche zu der Y-Achse rechtwinkelig ist. Entsprechend liegt die Werkradspindelachse W um den Winkel κ näher bei der Y-Achse, damit das Werkrad 22 und das Werkzeug 42 in Fig. 10 so wie in Fig. 9 in Eingriff sind. In Fig. 10 ist der Neigungswinkel κ in natürlicher GröÙe zu erkennen. Wenn der Wälzfräsvorgang weiter von statten geht, bewegt sich die Werkzeugspindelachse T auf einer Bahn, die in Fig. 10 rechts als eine Ellipse angedeutet ist. Der Schwenkbereich der Werkzeugspindelachse T ist durch einen Pfeil 76 gezeigt. Die Bewegung von einer Ausgangslage aus bis in eine Endlage, die der Pfeil 76 angibt, entspricht in etwa dem bei der herkömmlichen Maschine angewandten Grundwinkelschwenken der Werkradspindelachse W. Dieser Vorgang ist gemäß Fig. 10 auf der erfindungsgemäßen Maschine 10 aber eine kontinuierliche Drehung der Werkzeugspindelachse T um die Orientierungsachse O von einem Punkt 78 bis zu einem Punkt 80. Die Ellipse, auf die in Fig. 10 von links her geschaut wird, veranschaulicht den durch den Pfeil 76 zwischen den Punkten 78 und 80 angegebene Bereich, in welchem sich die Schwenktrommel 44 drehen muss, damit die vor-

herbestimmte relative Abwälzbewegung zwischen dem Werkrad 22 und dem Werkzeug 42 erzielt werden kann. Während dessen bleibt die Lage der Werkradspindelachse W, die auf den Wert Γ_{\max} minus κ eingestellt ist, fest. Die Werkradspindelachse W spannt mit der Orientierungsachse O allgemein eine Bezugsebene auf, zu der die Schwenkachse P rechtwinkelig ist. Der Grundwinkel Γ wird dabei gegen die zu der Orientierungsachse O in der Bezugsebene rechtwinkelige Y-Achse gemessen. Der Neigungswinkel κ wird gegen die Orientierungsachse O gemessen. Der Neigungswinkel κ liegt bei der Maschine 10 in einem Bereich von größer als 0° und bis zu 35° und vorzugsweise von 5° bis 15° und beträgt vorzugsweise 10° . Bei der Bewegung der Werkzeugspindelachse T um die Orientierungsachse O findet vorzugsweise keine Bewegungsumkehr statt. Die Erzeugerradachse (nicht dargestellt), die bei der herkömmlichen Mehrachsen-Kegelrad-Wälzfräsmaschine nach der EP-B1-0 374 139 im Raum eine Taumelbewegung ausführt, bewegt sich bei der Maschine nach der Erfindung lediglich in einer Vertikalebene.

Bei der Ausführung des erfindungsgemäßen CNC-gesteuerten Verfahrens werden die Werkradspindel W und die Werkzeugspindel T in den drei Richtungen X, Y und Z translatorisch bewegt. Bei dem hier beschriebenen Ausführungsbeispiel wird die Werkradspindel in ihrer Winkellage Γ um die vertikale Schwenkachse P für ein auf der Maschine zu bearbeitendes Kegelrad eingestellt, und dieser Grundwinkel Γ wird während der Wälzfräsbearbeitung beibehalten. Dann wird die Werkzeugspindelachse T um die Orientierungsachse O mit einem für alle auf der Maschine 10 zu bearbeitenden Kegelräder festen, nichteinstellbaren Neigungswinkel κ gegen die Orientierungsachse O kontinuierlich geschwenkt, wobei der Grundwinkel Γ und der Neigungswinkel κ so gewählt werden, dass durch das kontinuierliche Schwenken eine vorherbestimmte Abwälzbewegung zwischen dem Werkrad 22 und Werkzeug 42 erzielt wird.

Bei dem vorstehenden Verfahren können ebenso wie bei der oben beschriebenen Maschine 10 die Werkradspindel W und die Werkzeugspindel T miteinander vertauscht werden. Mit anderen Worten, die Werkradspindel 18 könnte auf dem zweiten Spindelträger 24 und die Werkzeugspindel 38 auf dem ersten Spindelträger 14 angeordnet sein und zusätzlich könnten die Horizontalführungen der Spindelträger statt auf einem horizontalen Bett auf einem vertikalen Bett angeordnet sein.

Bei dem erfindungsgemäßen CNC-Wälzfräsverfahren wird weiter der Neigungswinkel κ wenigstens gleich dem Größtwert von allen maximalen Grundwinkelschwenkbereichen 71 – 73, die auf einer herkömmlichen 6-Achsen-Maschine bei der Bearbeitung von Kegelrädern vorkommen, gewählt. Für den einzustellenden Grundwinkel Γ der Werkradspindel 18 wird ein Winkel berechnet, der gleich dem maximalen Grundwinkel Γ_{\max} ist, welcher sich für ein zu

bearbeitendes Kegelrad auf einer herkömmlichen 6-Achsen-Maschine ergibt, minus dem Neigungswinkel κ .

Fig. 4 zeigt ein Ausführungsbeispiel, bei dem das Werkrad 22, das durch das Werkzeug 42 bearbeitet wird, ein Tellerrad ist.

Fig. 5 zeigt in der gleichen Darstellung wie in Fig. 4 den Fall, dass es sich bei dem Werkrad 22 um ein Ritzel handelt.

In Fig. 6 ist das Werkzeug 42 in Wechselposition gezeigt. Zum Beschicken der Maschine 10 mit einem neuen Werkrad 22 wird der erste Spindelträger 14 in Fig. 6 noch gedreht, bis die Werkradachse W parallel zur Horizontalführung 37 verläuft, und der Schlitten 36 nach rechts verfahren.

Fig. 7 zeigt, dass unter bestimmten Umständen auch in der Stellung der Schwenktrommel 44, die in Fig. 6 gezeigt ist, eine Bearbeitung eines Ritzels möglich ist. Diese Bearbeitungsposition ist der nach Fig. 5 vorzuziehen, weil sich in diesem Fall die Eingriffsstelle zwischen dem Werkzeug 42 und dem Werkrad 22 direkt über dem Spänesammler 46 (Fig. 1) befindet.

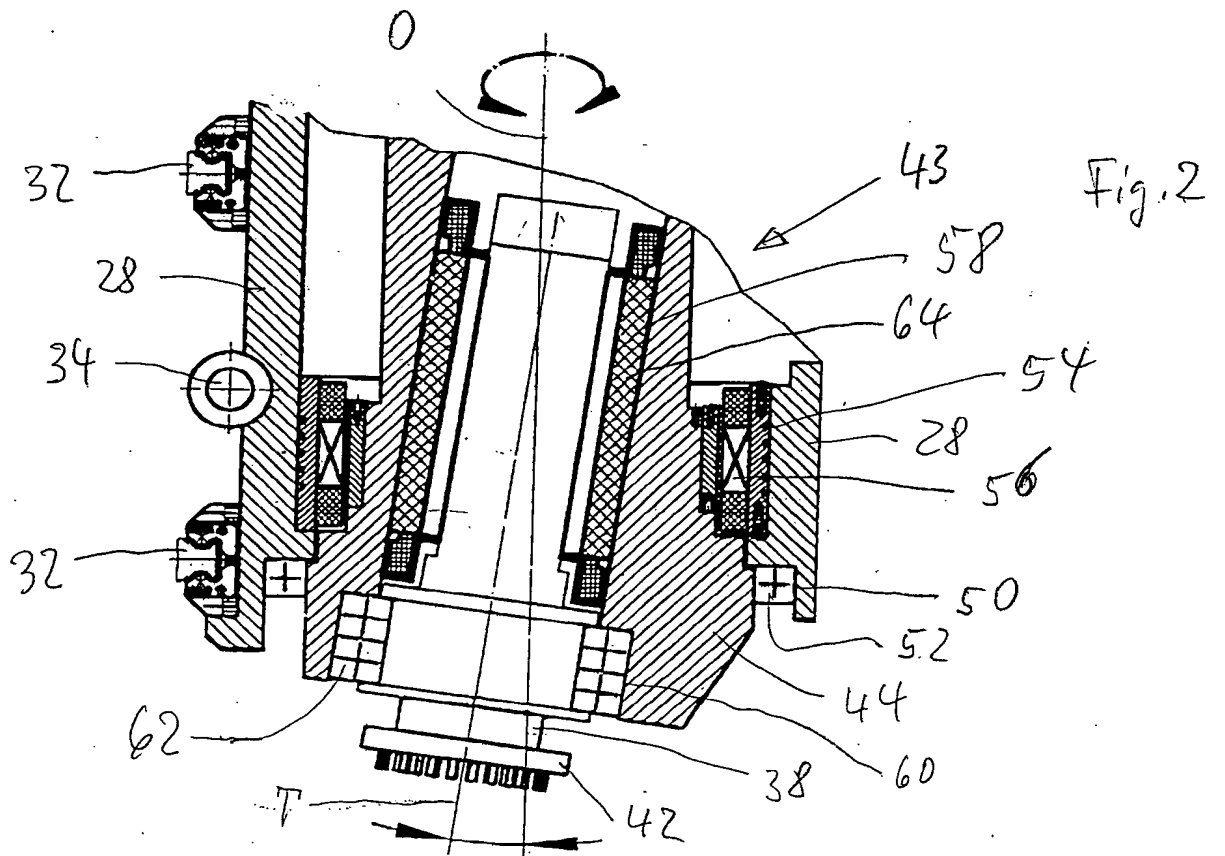
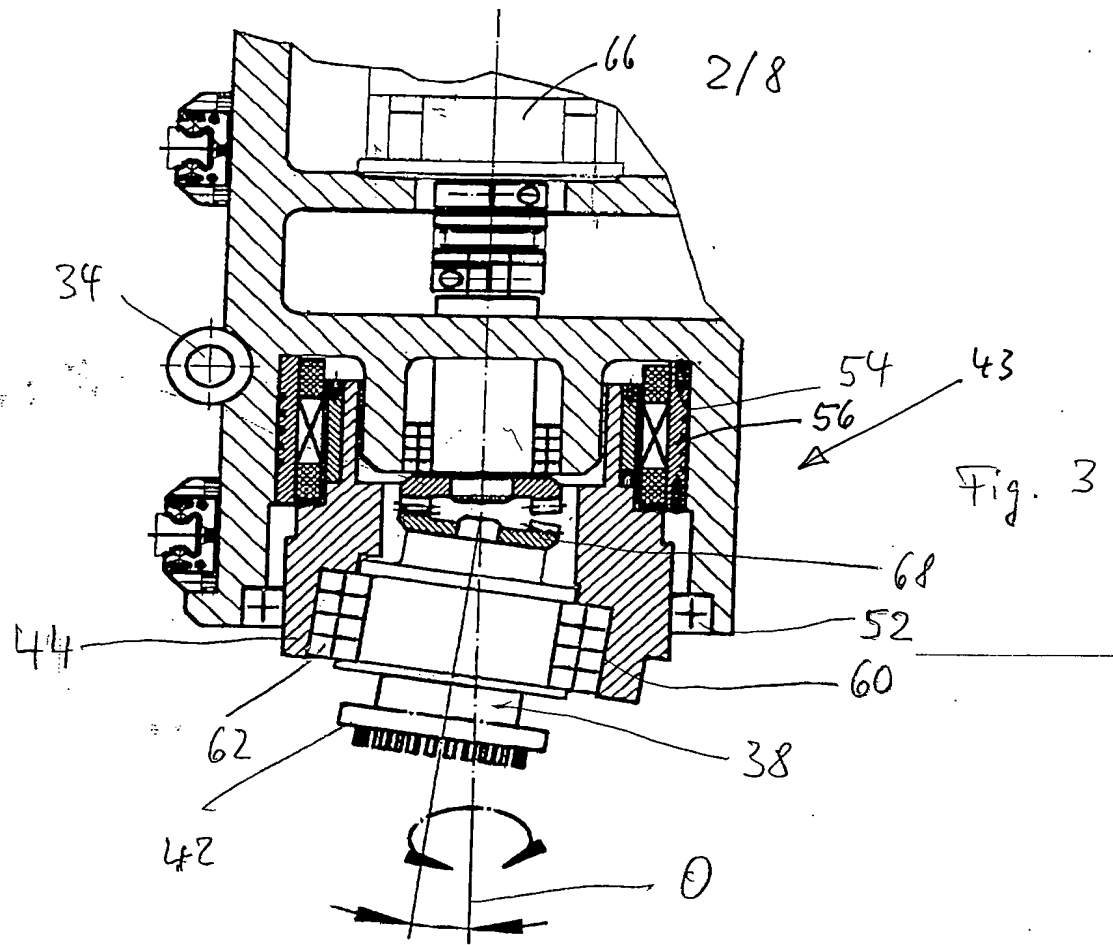
Patentansprüche

1. Maschine und Verfahren zum CNC-gesteuerten spanabhebenden Bearbeiten, insbesondere Wälzfräsen oder Wälzschleifen, von Spiralkegelrädern mit und ohne Achsversetzung,
mit einer Werkradspindel (18) zur drehbaren Lagerung eines Werkrades (22),
mit einer Werkzeugspindel (38) zur drehbaren Lagerung eines Werkzeuges (42),
mit Einrichtungen (14, 24) zum Relativbewegen der Werkradspindel (18) und der Werkzeugspindel (38) in bis zu drei verschiedenen Richtungen (X, Y, Z),
wobei von Werkradspindel (18) und Werkzeugspindel (38) eine erste Spindel einen für alle auf der Maschine zu bearbeitenden Kegelräder festen, nicht einstellbaren Neigungswinkel (κ) mit einer Orientierungsachse (O) bildet und durch eine drehbare Schwenkvorrichtung (43) kontinuierlich um die Orientierungsachse (O) schwenkbar ist,
und die zweite Spindel, die mit ihrer Achse (W oder T) und der Orientierungsachse (O) eine Bezugsebene aufspannt, in ihrer Winkellage um eine zu der Bezugsebene rechtwinkelige Schwenkachse (P) für ein auf der Maschine (10) zu bearbeitendes Kegelrad einstellbar ist, sich aber während der Bearbeitung nicht verändert,
wobei der Neigungswinkel (κ) und die Winkellage so gewählt sind, dass eine vorherbestimmte relative Abwälzbewegung zwischen Werkrad (22) und Werkzeug (42) erzielbar ist.
2. Maschine nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Schwenkvorrichtung (43) eine um die Orientierungsachse (O) drehbare Schwenktrommel (44) aufweist, an oder in welcher die schwenkbare Spindel drehbar gelagert ist.
3. Maschine nach Anspruch 2, gekennzeichnet durch eine Einrichtung (54) zum, insbesondere nichtlinearen, Drehen der Schwenktrommel (44).
4. Maschine nach Anspruch 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, dass wenigstens zwei der drei Richtungen (X, Y, Z) orthogonal zueinander sind.
5. Maschine nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass die dritte Richtung (Z) zu einer der beiden oder zu beiden orthogonalen Richtungen schräg ist.

6. Maschine nach einem der Ansprüche 2 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Neigungswinkel (κ) wenigstens gleich ist dem Größtwert (κ_{\max}) von allen maximalen Grundwinkelschwenkbereichen (70 bis 73), die auf einer herkömmlichen 6-Achsen-Maschine bei der Bearbeitung von Kegelrädern vorkommen.
7. Maschine nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Winkellage der zweiten Spindel gegenüber einer Koordinatenachse (Y) in der Bezugsebene gemessen ist, die rechtwinklig zur Orientierungsachse (O) ist, und als Grundwinkel (Γ) bezeichnet wird.
8. Maschine nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass der einzustellende Grundwinkel (Γ) einem Winkel entspricht, der gleich dem maximalen Grundwinkel (Γ_{\max}) ist, welcher sich für ein zu bearbeitendes Kegelrad auf einer herkömmlichen 6-Achsen-Maschine ergibt, minus dem Neigungswinkel (κ).
9. Maschine nach einem der Ansprüche 6 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Neigungswinkel (κ) in einem Bereich von größer als 0° und bis zu 35° und vorzugsweise von 5° bis 15° liegt und vorzugsweise 10° beträgt.
10. Maschine nach einem der Ansprüche 2 bis 9, dadurch gekennzeichnet, dass von Werkradspindel (18) und Werkzeugspindel (38) die erste Spindel durch einen um die zu der Bezugsebene rechtwinklige Schwenkachse (P) schwenkbaren und in einer der drei Richtungen verschiebbaren ersten Spindelträger (14) drehbar gelagert ist und die zweite Spindel mit der Schwenktrommel (44), in der sie drehbar gelagert ist, durch einen in einer der beiden anderen Richtungen verschiebbaren zweiten Spindelträger (24) drehbar gelagert und in der dritten Richtung verschiebbar geführt ist.
11. Maschine nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass beide Spindelträger (14, 24) horizontal geführt sind.
12. Maschine nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, dass der erste Spindelträger horizontal und der zweite Spindelträger in der Höhe verfahrbar geführt ist.
13. Maschine nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Spindelträger (24) einen ersten Schlitten (26) aufweist, der horizontal geführt ist, und einen zweiten Schlitten (28), der an dem ersten Schlitten (26) in der Höhe verfahrbar geführt ist und die Schwenktrommel (44) drehbar lagert.

14. Maschine nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der zweite Spindelträger einen ersten Schlitten aufweist, der in der Höhe verfahrbar ist, und einen zweiten Schlitten, der an dem ersten Schlitten horizontal geführt ist und die Schwenktrommel drehbar lagert.
15. Maschine nach Anspruch 11 oder 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Horizontalführungen (30, 37) jeweils auf einem horizontalen Bett (12) vorgesehen sind.
16. Maschine nach Anspruch 12 oder 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Horizontalführung des ersten Spindelträgers und die Höhenführung des zweiten Spindelträgers an einem Schräg- oder einem Vertikalbett vorgesehen sind.
17. Maschine nach einem der Ansprüche 10 bis 16, dadurch gekennzeichnet, dass die Werkradspindel (18) und die Werkzeugspindel (38) so angeordnet sind, dass bei der Bearbeitung Werkrad (22) und Werkzeug (42) an einer Stelle in Eingriff kommen, die sich im Wesentlichen über einem horizontalführungsfreien Bereich der Maschine (10) befindet, in welchem ein Spänesammler (46) vorsehbar oder vorgesehen ist, in den die Späne im Wesentlichen durch Schwerkraft gelangen.
18. Maschine nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, dass die Richtung (Z), in der die Schwenktrommel (44) mit ihrem zugeordneten Schlitten (28) in der Höhe verfahrbar ist, gegen die Vertikale geneigt ist.
19. Maschine nach einem der Ansprüche 2 bis 18, dadurch gekennzeichnet, dass die Werkzeugspindel (38) in der Schwenktrommel (44) drehbar gelagert ist.
20. Maschine nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, dass für die Werkzeugspindel (38) ein Direktantrieb (64) in der Schwenktrommel (44) vorgesehen ist.
21. Maschine nach einem der Ansprüche 2 bis 19, dadurch gekennzeichnet, dass für die Werkzeugspindel (38) ein Drehantrieb (66) außerhalb der Schwenktrommel (44) vorgesehen ist, der über ein Winkelgetriebe (68) mit der Werkzeugspindel (38) verbunden ist.

22. Verfahren zum CNC-gesteuerten spanabhebenden Bearbeiten, insbesondere Wälzfräsen oder -schleifen, von Spiralkegelrädern mit und ohne Achsversetzung durch folgende Schritte:
 drehbares Lagern eines Werkrades (22) durch eine Werkradspindel (18),
 drehbares Lagern eines Werkzeuges (42) durch eine Werkzeugspindel (38),
 Relativbewegen der Werkradspindel (18) und der Werkzeugspindel (38) in bis zu drei verschiedenen Richtungen (X, Y, Z),
 Einstellen der Werkradsspindel (18) oder der Werkzeugspindel (38), die mit ihrer Achse und einer Orientierungsachse (O) eine Bezugsebene aufspannt, in ihrer Winkellage um eine zu der Bezugsebene rechtwinkelige Schwenkachse (P) entsprechend einem auf der Maschine (10) zu bearbeitenden Kegelrad unter Beibehaltung dieser Winkellage während der Bearbeitung, und
 kontinuierliches Schwenken der anderen Spindel um die Orientierungsachse (O) mit einem für alle auf der Maschine (10) zu bearbeitenden Kegelräder festen, nichteinstellbaren Neigungswinkel (κ) gegen die Orientierungsachse (O),
 wobei die Winkellage und der Neigungswinkel (κ) so gewählt werden, dass durch das kontinuierliche Schwenken eine vorherbestimmte relative Abwälzbewegung zwischen Werkrad (22) und Werkzeug (42) erzielt wird.
23. Verfahren nach Anspruch 22, dadurch gekennzeichnet, dass der Neigungswinkel (κ) wenigstens gleich dem Größtwert (κ_{\max}) von allen maximalen Grundwinkelschwenkbereichen (70 bis 73), die auf einer herkömmlichen 6-Achsen-Maschine bei der Bearbeitung von Kegelrädern vorkommen, gewählt wird.
24. Verfahren nach Anspruch 22 oder 23, dadurch gekennzeichnet, dass für den einzustellenden Grundwinkel (Γ) ein Winkel berechnet wird, der gleich dem maximalen Grundwinkel (Γ_{\max}) ist, welcher sich für ein zu bearbeitendes Kegelrad auf einer herkömmlichen 6-Achsen-Maschine ergibt, minus dem Neigungswinkel (κ).
25. Verfahren nach einem der Ansprüche 22 bis 24, dadurch gekennzeichnet, dass zum Erzielen der vorherbestimmten Abwälzbewegung das kontinuierliche Schwenken der anderen Spindel ungleichförmig erfolgt.



3/8

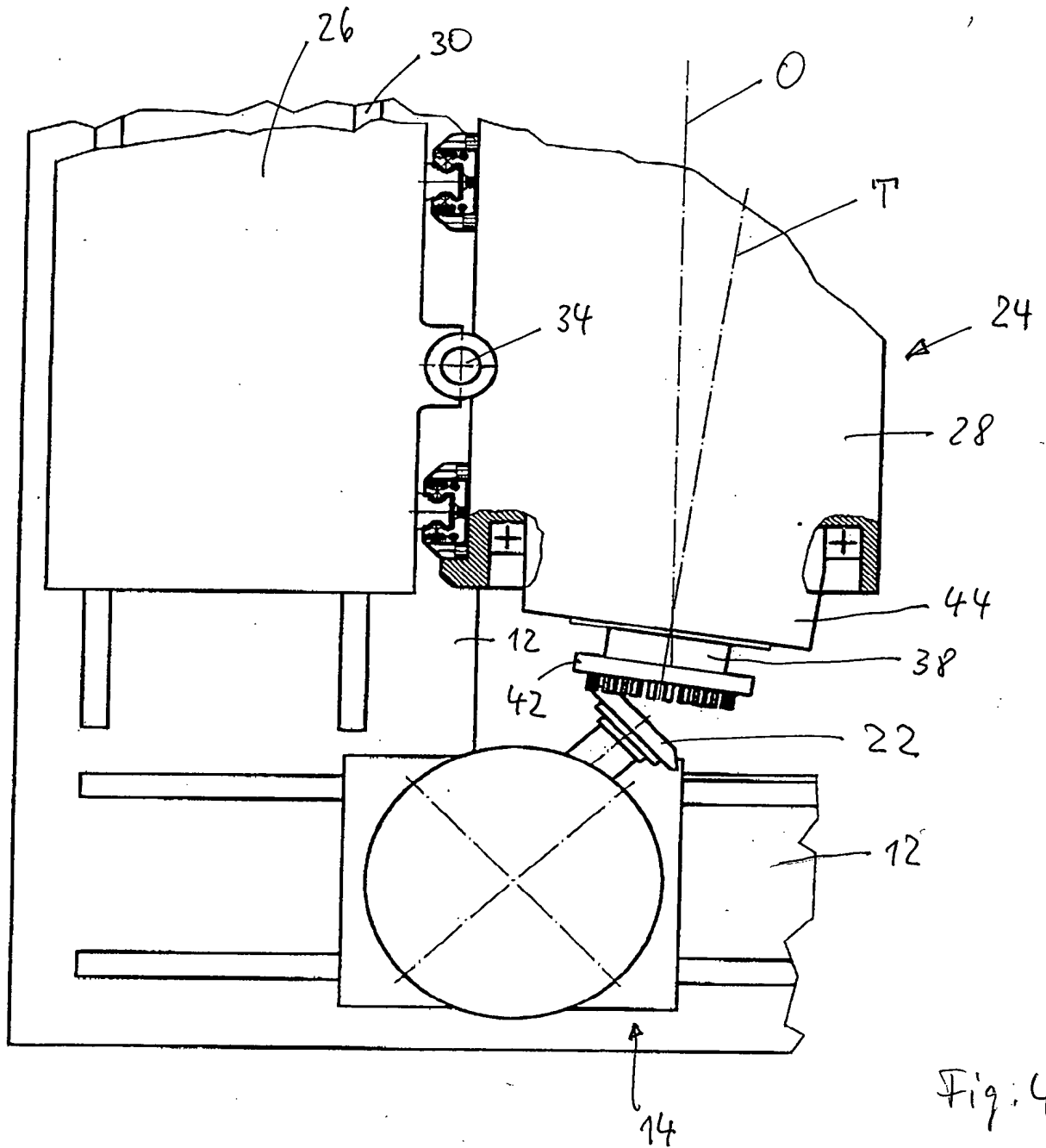


Fig. 4

The diagram shows a mechanical assembly with the following components and labels:

- 0**: A vertical line or path extending from the top right.
- T**: A dashed line or path extending from the top right, below 0.
- 28**: A large, irregularly shaped component on the right side.
- 38**: A small, rectangular component located below 28.
- 42**: A small, rectangular component located below 38.
- 22**: A large, rectangular component at the bottom right.
- W**: A small, rectangular component located between 42 and 22.
- 14**: A large, circular component at the bottom center, with a crosshair inside.

The assembly is shown in a cross-sectional view, with various mechanical parts and components labeled with numbers. The diagram illustrates the mechanical structure and the path of light or material flow through the system.

Fig. 5

5/8

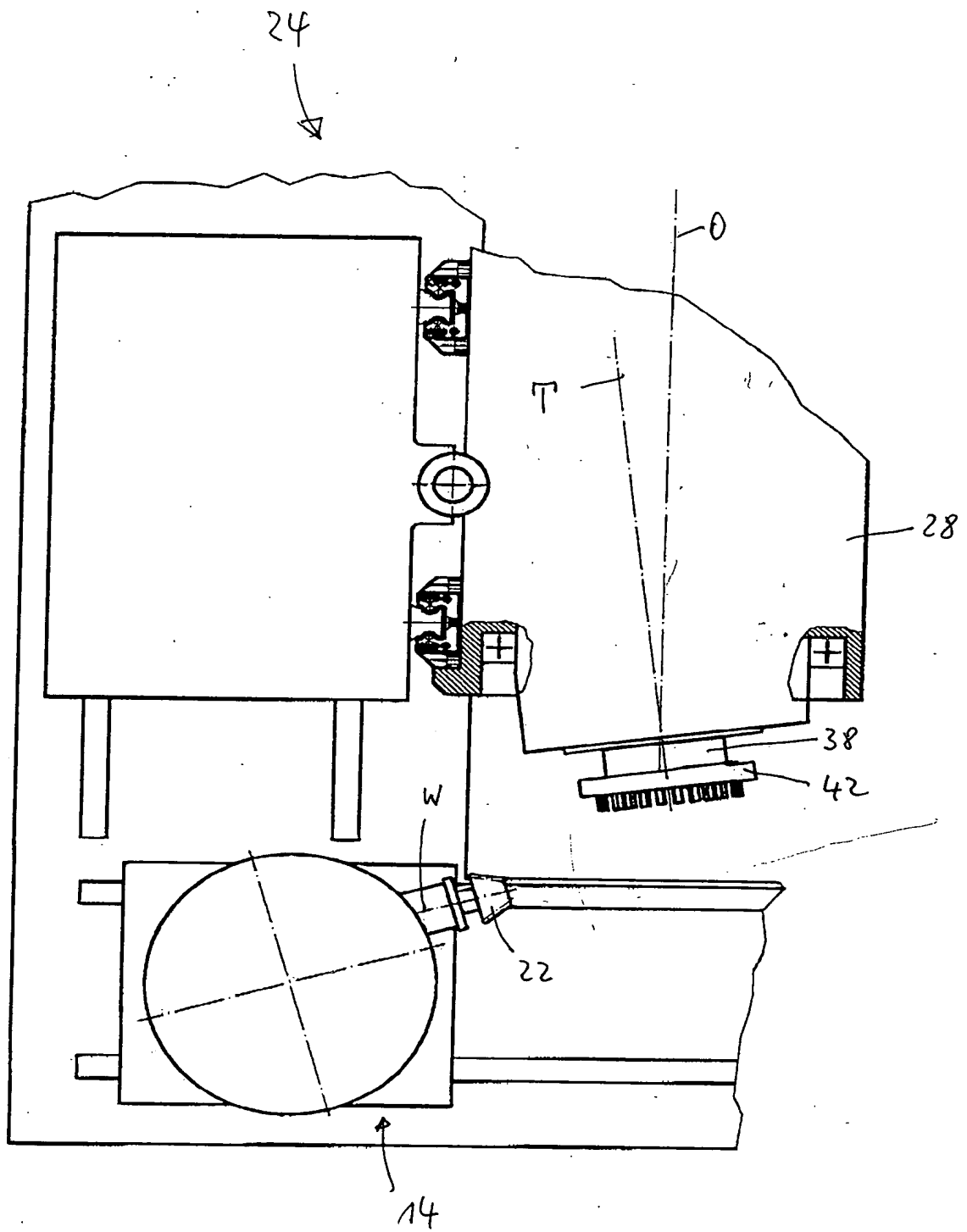


Fig. 6

6/8

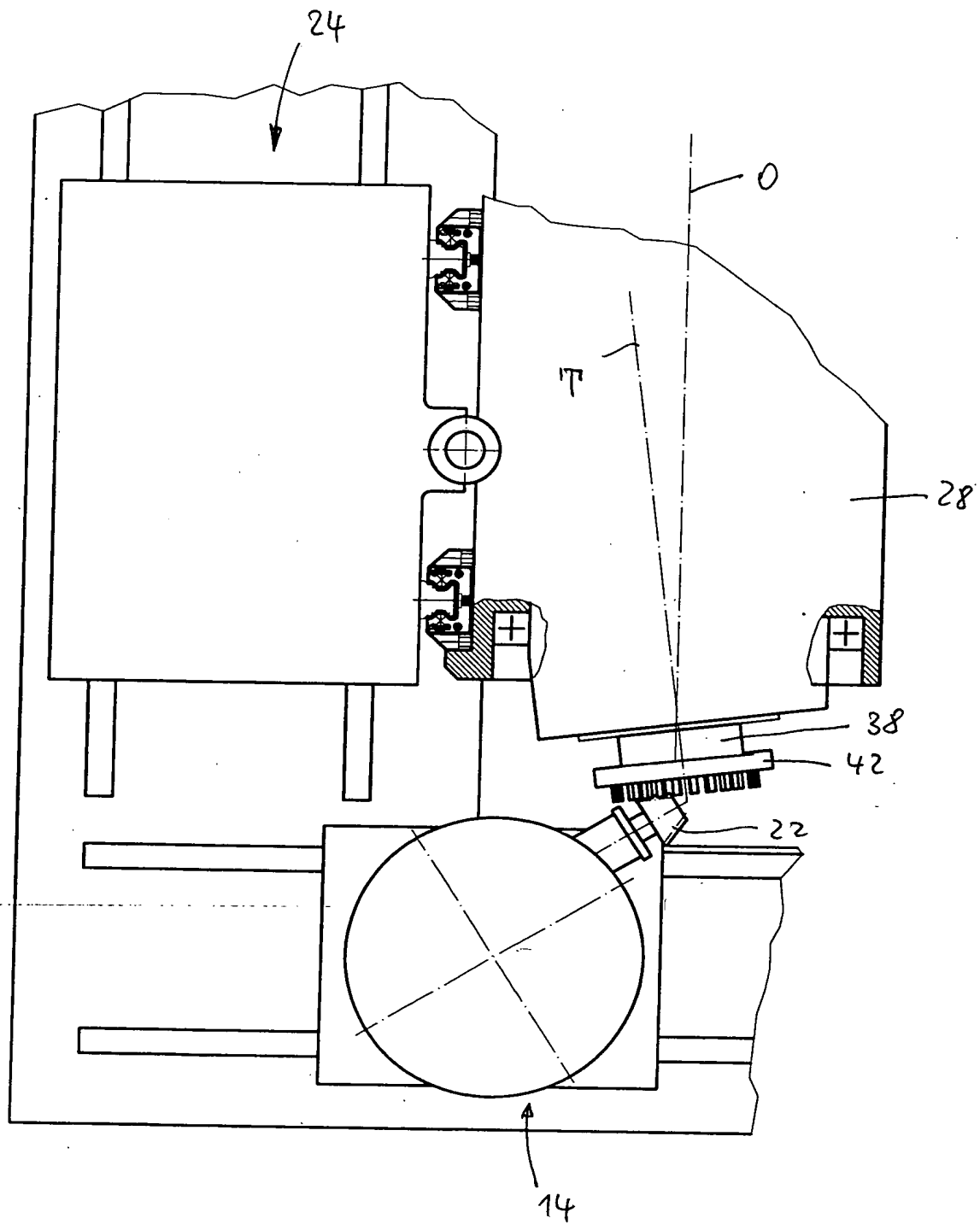


Fig. 7

7/8

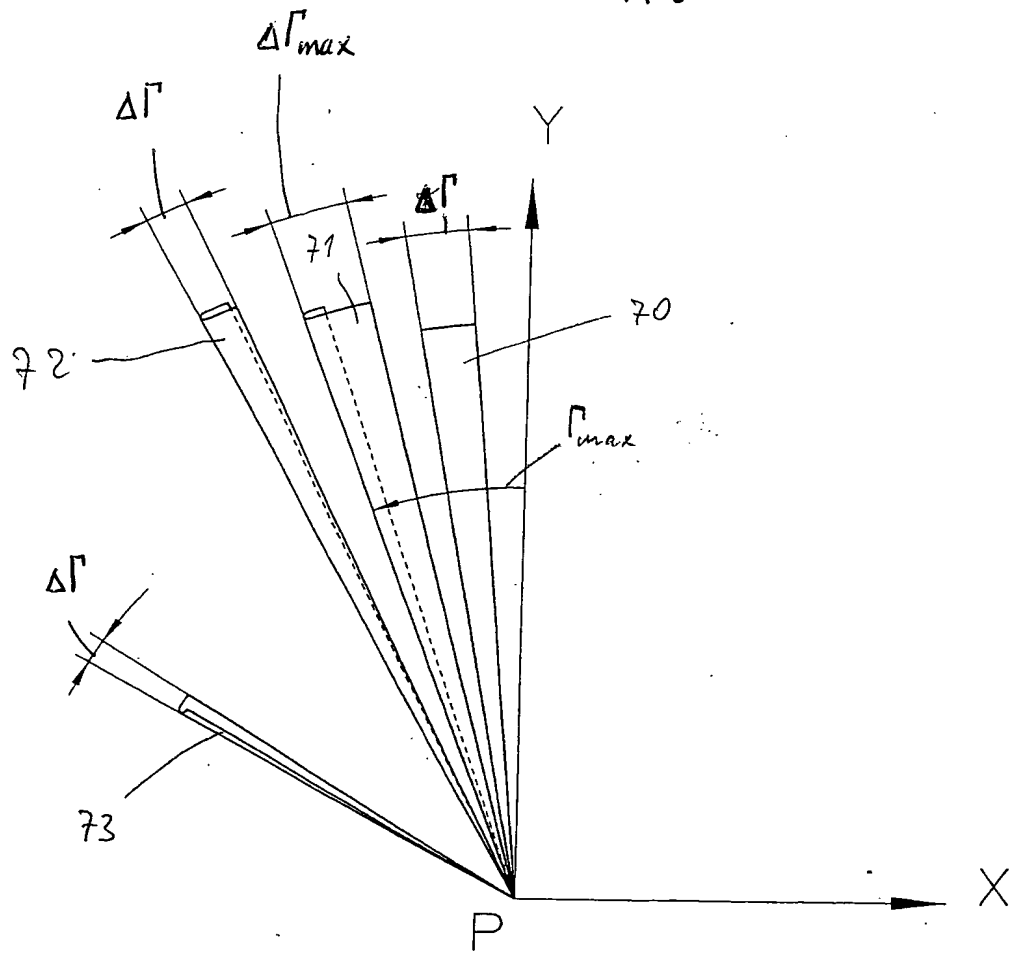


Fig. 8

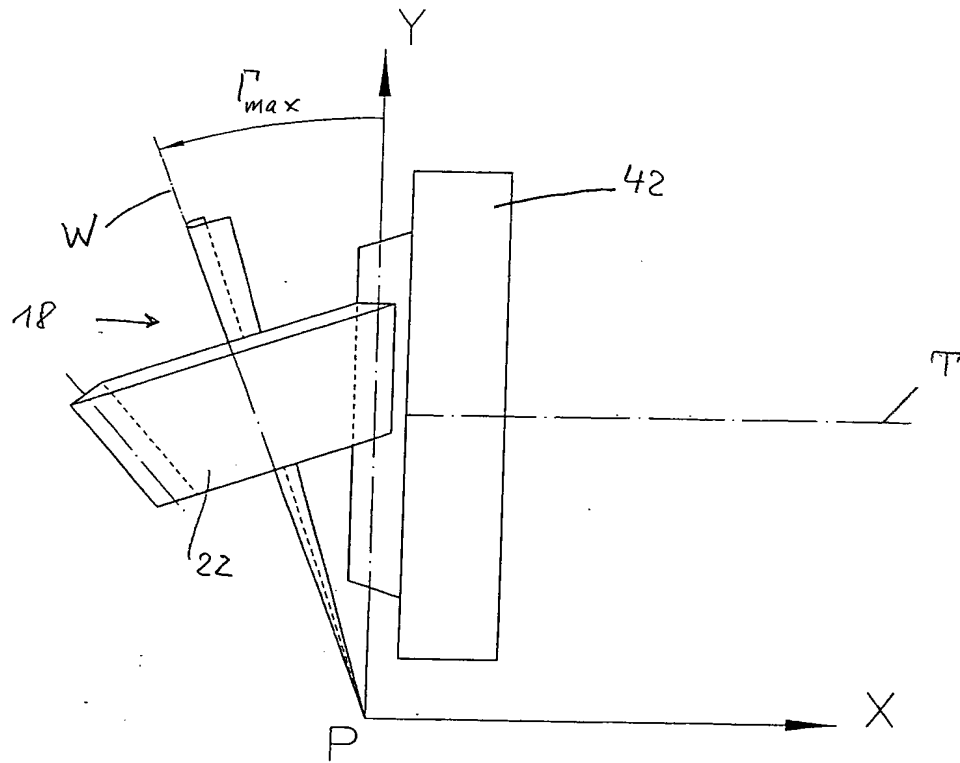


Fig. 9

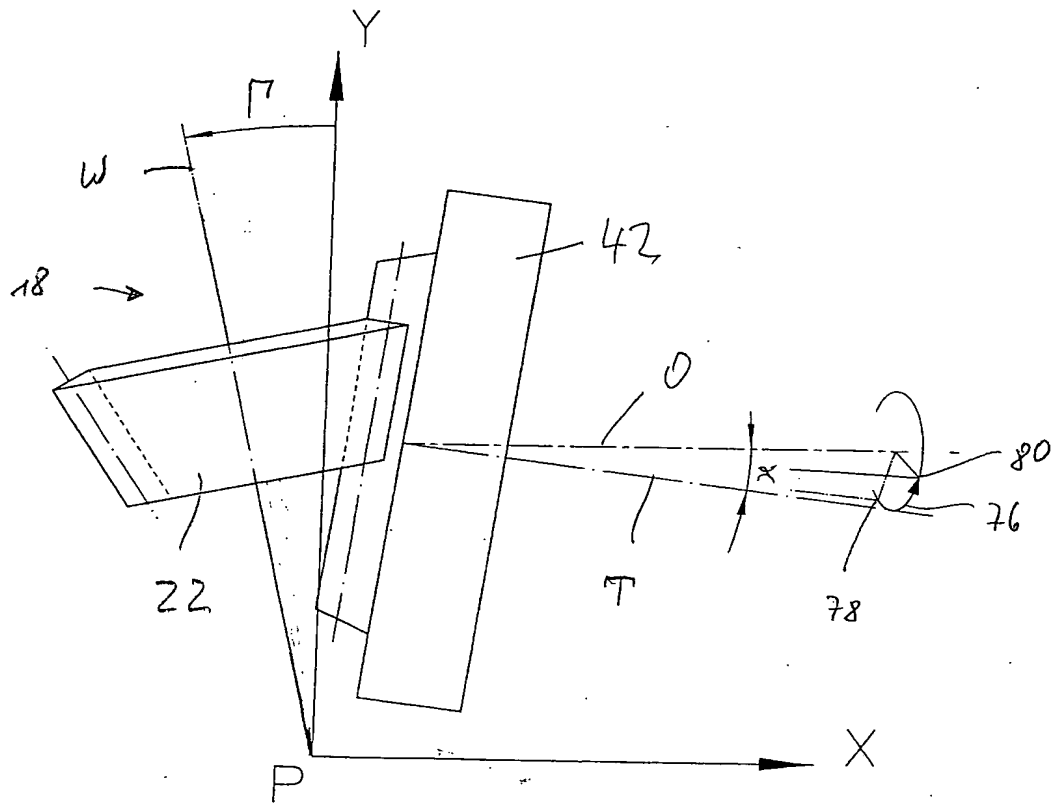


Fig. 10